

Discussion Paper / Artículo de Reflexión - Tipo 2

Tele-operated laboratory for teaching logistics operations

Maritza Correa Valencia, Ph.D. / mcorrea@uao.edu.co

Alexander Aragón Chamorro, MSc. / aaragon@uao.edu.co

Departamento de Operaciones y Sistemas, Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Colombia

ABSTRACT The link between academia, government, and business to improve the development and appropriation of knowledge in certain topics, such as logistics, is being promoted in Colombia. One of the key issues of teaching logistics is try to bring to actual work contexts, problems that can be handled by people who do not have experience. The incorporation of Information and Communications Technologies (ICT) in academic environments supports the training of professionals in different fields. The tele-operated laboratory for logistics operations called Internet2 way [TELEOPLOGIS] is a project focused on the development and implementation of a remote laboratory where an integrated and didactic manufacturing cell, some robot manipulators, and specific pieces of software are used for the teaching of logistics operations. This laboratory includes the development of guidelines and academic workshops with two approaches: teleoperation systems for discrete events, and manufacturing cells that transform the cell nodes into elements of logistics operations. We achieved acceptable results in both remote operations and in practices that currently are in progress.

KEYWORDS augmented reality; ICT; logistics; remote laboratories; simulation; teleoperation.

Laboratorio tele-operado para la enseñanza de operaciones logísticas

RESUMEN En Colombia se está impulsando la vinculación entre la academia, el gobierno y las empresas para el mejor desarrollo y la apropiación del conocimiento en tópicos determinados, como es el caso de la logística. Uno de los problemas de la enseñanza de logística es intentar acercar los problemas reales, sacados de contextos laborales, a personas que no cuentan con experiencia. La incorporación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en ambientes académicos da soporte a la formación de profesionales de diversas áreas. El Laboratorio Tele-operado de Operaciones Logísticas vía Internet2 [TELEOPLOGIS] está enfocado en el desarrollo y puesta en marcha de un laboratorio remoto en el cual se incorpora una celda integrada de manufactura didáctica, robots manipuladores y software específico, a la enseñanza de operaciones logísticas. Este laboratorio incluye el desarrollo de guías y talleres académicos con dos enfoques: sistemas de tele-operación de eventos discretos y la celda de manufactura, convirtiendo los nodos de la celda en elementos de operación logística. Se han logrado resultados aceptables, tanto en la operación remota, como sobre las prácticas para la enseñanza de logística que se han desarrollado.

PALABRAS CLAVE Enseñanza de logística; TIC; laboratorios remotos; tele-operación; simulación; realidad aumentada.

Laboratório remoto para o ensino de operações logísticas

RESUMO A Colômbia está promovendo a ligação entre a academia, o governo e as empresas para melhorar o desenvolvimento e a apropriação do conhecimento sobre determinados temas, como a logística. Um dos problemas do ensino da logística é tentar aproximar os problemas reais, tirados de contextos de trabalho, das pessoas que não têm experiência. A incorporação das Tecnologias da Informação e Comunicação em ambientes acadêmicos apoia a formação de profissionais em diferentes áreas. O Laboratório remoto de Operações Logísticas via Internet 2 [TELEOPLOGIS] está focado no desenvolvimento e implementação de um laboratório no qual se incorporam uma célula didática de manufatura integrada, robôs manipuladores e um software específico, no ensino de operações logísticas. Este laboratório inclui o desenvolvimento de diretrizes e workshops acadêmicos com dois enfoques: os sistemas de tele operação de eventos discretos e a célula de manufatura, convertendo os nós da célula em elementos de operação logística. Foram alcançados resultados aceitáveis, tanto na operação remota, quanto nas práticas do ensino de logística que têm sido desenvolvidas.

PALAVRAS-CHAVE Ensino de logística; TIC; laboratórios remotos; tele operação; simulação; realidade aumentada.

I. Introduction

In Colombia, several approaches have been developed to include the use of Information and Communication Technologies [ICT] in higher education. This topic is a novel proposal, since only 25% of the Colombian population has access to college.

Some private and public institutions are driving these kinds of project. As an example we have the National Direction of Virtual Academic Services [DNSAV: *Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales*]—known as *UN Virtual*. *UN Virtual* is a dependency of the *Universidad Nacional de Colombia* in charge of providing the tools and necessary support for the construction, execution, and management of academic training supported in Learning Management Systems [LMS]. It is important to note that, nowadays, *UN Virtual* offers academic programs for the entire college community (DNIA, 2014). The National Research and Education Networks [NREN], like the National Academic Network of Advanced Technology [RENATA: *Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada*], try to enhance the development of several educative schemes through modernization, upgrading, and research in ICT, defining and executing policies, plans, and programs to improve some projects of pedagogic innovation.

Despite the fact that some researchers have worked on topics related with the control of manufacturing cells, e.g. Rodríguez, Hernández, Foyo, and Loa (2011), and Duque et al. (2011), they relate their job with the control and operation of a manufacturing cell through RENATA. Consequently, there is a significant difference between these projects and the one described in this document. This is because the objective of our proposal is to develop a remote laboratory where the development of the practices involves students with an interest in discrete event control and supply chain management, assessing the features of remote connections. We propose some changes in the functional nodes of the manufacturing cell over logistics operations elements. These modifications can be simple, but they are not trivial since the practices must be in accordance with the reality of the companies and their particular logistics.

A remote laboratory is defined as a person with a computer, which remotely controls an experiment in a specific location. The rise in its utilization, especially in the education field, is linked with the increase in bandwidth available for users, together with the reduction of the connection costs, and the ease of buying computers (Calvo, Zulueta, Gangoi-

I. Introducción

En Colombia ya se han adelantado pasos para involucrar el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [TIC] en la educación superior. Esta solución se empezó a considerar dado que en Colombia solo el 25% de la población puede acceder a la universidad.

A esa apuesta se han sumado instituciones públicas y privadas, un ejemplo de ello es la creación, en 2004, de la Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales [DNSAV]—conocida como *UN Virtual*—, dependencia de la Universidad Nacional de Colombia, encargada de brindar las herramientas y el soporte necesarios para la construcción, ejecución y administración de eventos de formación y capacitación soportados en entornos virtuales de aprendizaje que incorporen el uso de medios y tecnologías de la información, la cual ya está ofreciendo programas académicos en modalidad virtual (DNIA, 2014). Redes, como la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA), buscan impulsar el desarrollo de diversos esquemas educativos, por medio de la continua modernización, actualización e investigación en la implementación de los medios y las TIC, definiendo y ejecutando políticas, planes y programas encaminados al apoyo de procesos de innovación pedagógica y la conformación de redes de investigadores.

Aunque ya se han presentado varios trabajos a nivel nacional e internacional que buscan controlar una celda de manufactura, como los de Rodríguez, Hernández, Foyo, y Loa (2011), y el de Duque et al., (2011)—quienes presentan un proyecto para operar y controlar el estado y funcionamiento de una celda de manufactura flexible a través de la red RENATA—, hay una gran diferencia entre estos proyectos y el presentado en este documento, ya que el objetivo del presente es desarrollar un laboratorio remoto donde se diseñen prácticas de laboratorio, involucrando estudiantes interesados en el control de eventos discretos, evaluando las características propias de la conexión remota, y aquellos interesados en la gestión de la cadena de abastecimiento. Se propone cambiar los nodos funcionales de la celda de manufactura en elementos de operaciones logísticas. Este cambio, aunque sencillo, no es trivial, ya que las prácticas de laboratorio deben estar acordes con la realidad de diferentes empresas y la logística propia del sector al que pertenecen.

Un laboratorio remoto se puede definir como una persona con un computador, quien desde un lugar distante controla remotamente un experimento en una localización específica. La extensión de la utilización de estas aplicaciones, especialmente en el ámbito de la educación, ha venido ligada, por una parte, al aumento del ancho de banda disponible por parte de los usuarios y el bajo costo de las tarifas de conexión; y por otra, a la facilidad de compra y difusión del uso de computadores en el hogar (Calvo, Zulueta, Gangoiiti, & López, 2008; Gonzales, Adiego, Sanz, Bouab, & Mass, 2008).

Aunque *a priori* se piense en lo contrario, la construcción de laboratorios remotos es una labor bastante más complicada que la implementación de laboratorios tradicionales, ya que se mantiene la problemática del diseño de experimentos y la configuración de los equipos usados en la ejecución del experimento, usual de los laboratorios tradicionales, y se adiciona la construcción de una infraestructura amigable y de fácil configuración para los usuarios que accederán a él, de manera remota, para la integración de la información que se obtiene de los diferentes medios, como puede ser con el uso de navegadores Web (Calvo et al., 2008).

Los laboratorios virtuales han evolucionado convirtiéndose en laboratorios remotos, gracias a la inclusión de mayor complejidad en las actividades de laboratorio, adicionales al desarrollo de la computación, son sistemas basados en instrumentación real de laboratorio que permiten al estudiante realizar actividades prácticas, de forma local o remota, transfiriendo la información entre el proceso y el estudiante, de manera uni o bidireccional. El alumno utiliza y controla los recursos disponibles en el laboratorio a través de estaciones de trabajo de una red local. El laboratorio virtual se diferencia del laboratorio remoto por el tipo de computación que utiliza y por el tratamiento de los materiales. En los laboratorios remotos se usan los instrumentos reales del laboratorio, tales como tarjetas de adquisición de datos, instrumentos de medición, conexiones en interfaces diversas, comunicación de datos, etc. Los laboratorios virtuales, por su parte, solamente usan procesos de computación basados en simulaciones, como pueden ser programas ejecutables en la nube, flash o applets de Java.

Los laboratorios remotos presentan mayores ventajas que los laboratorios virtuales debido a que proporcionan mayor nivel de interactividad, de tal manera que el alumno entra en contacto con equipamiento real, en lugar de hacerlo con programas simulados. Los laboratorios remotos son una innovación en el campo de la educación y habrá que prestar atención, tanto a su diseño, como al estudio de sus ventajas e inconvenientes, desde el punto de vista didáctico.

La arquitectura de un laboratorio remoto se basa en una estructura cliente-servidor que requiere un mínimo de dos aplicaciones para su funcionamiento: del lado del equipo servidor se encuentra la aplicación que da acceso al dispositivo físico, realizando continuamente la toma de datos, análogos o digitales, de las variables a controlar, mientras que del lado del cliente se tiene la aplicación (interfaz gráfica) que el usuario manipula remotamente; estos datos son enviados al equipo servidor, realimentado la señal (variable a controlar) bidireccionalmente (Calvo et al., 2008).

Los laboratorios remotos, también llamados laboratorios controlados vía Web –o simplemente WebLabs–, ofrecen acceso remoto a los equipos de laboratorio reales y a los instrumentos en tiempo real. Según Rosado y Herreros (2005), y Coquard, Guillemot, Leleve, Noterman, y Ben-

ti, & López, 2008; Gonzales, Adiego, Sanz, Bouab, & Mass, 2008).

Although, *a priori*, the reader might think that the construction of remote laboratories is not as complicated as the implementation of traditional ones, this is not an absolute truth. This is because remote labs still have the issues of the design of experiments and the set-up of the equipment used during the execution of the experiment, that are common in traditional laboratories. Besides, remote labs require the construction of a friendly and easy-to-configure infrastructure for the access (Calvo et al., 2008).

Virtual laboratories have evolved into remote ones as a result of the inclusion of more complex practices (additional to the development of the computational tasks). Moreover, remote labs are systems based on real laboratory equipment, which allow students to perform hands-on activities, either face-to-face or remote practices, transferring the information between the process and the students in a unidirectional or bidirectional way, respectively. Students use and control the available resources of the lab through work stations in a local network. The difference between the virtual and the remote laboratories resides in the type of computation used and the treatment of the materials. For example, in the remote labs, students use real laboratory instruments such as data acquisition cards, measurement instruments, connections in diverse interfaces, data communication, etc. On the other hand, virtual labs only use computational processes based on simulations, e.g., executable programs in the cloud, Flash programs, or Java applets.

Remote laboratories present considerable advantages in relation to virtual ones, since the first provide higher interactivity levels. Consequently, students stay in touch with the real equipment, instead of doing it through simulated programs. From the didactic point of view, remote labs are a novel innovation in the field of education, and research related to their design, advantages and disadvantages is required.

The architecture of a remote laboratory is based on the client-server model and it requires a minimum of two applications for its correct operation. On the server side, we have the application that concedes access to the physical device, running the data collection (either analog or digital) of the variables to control. Alternatively, the client side presents the application with a Graphical User Interface. This app is the one the user remotely manipulates and the data is sent to the server, feeding the signal (variable to control) in a bidirectional way (Calvo et al., 2008).

Remote laboratories, also called controlled labs via web or *WebLabs*, provide remote access to the real laboratory equipment and instruments in real time. As Rosado and Herreros (2005) and Coquard, Guillemot, Leleve, Noterman, and Benmohamed (2008) mention, some advantages of *WebLabs* are the ability to take advantage of human resources and the materials of the laboratories. This is enabled by the integration of the necessary instruments for the execution of the practices in a single workstation; so, the savings in laboratory material are considerable. Therefore, the remote laboratory enhances the time availability for the students in their learning experience.

Working in the laboratory through the implementation of *WebLabs* is not limited either by the physical space or by the available time of the personnel, since they contribute to the structuring of the experiments. This is used by the students to increase their development of skills related with observation, problem resolution, and results analysis. Their main disadvantage is the lack of direct control, since the visualization of the system is through web cameras; hence, external devices like the mice of keyboards handle the tools of the remote system. Real-time experimentation demands relatively small sampling times, in addition to which it is necessary to provide real-time operating systems. Both hardware and software have to be robust enough to reduce potential failures whilst they are being operated by the students, providing a comfortable user experience for them.

One of the topics of growing interest is the role of logistics in higher education research laboratories, one example of which is the creation of a conference focused on these studies and called *Impact of Virtual, Remote and Real Logistics Labs [ImViReLL]* (Uckelmann, 2012), the objective of which is to assess the impact of the research labs based on logistics. The conference tackles research, from the point of view of the logistics, in a wide variety of knowledge areas such as engineering, computer science, and research in distributed education, among others. Some of the open topics for discussion are LMS focused on research, remote virtualization environments, existing research environments, logistics in the life of the laboratories, and end-user participation.

The case of supply chains is even more critical because each sector has a particular technique to handle logistics. One of the key advantages of a *WebLab* is the possibility to suggest several cases, diversifying the experience in representative economic sectors. For instance, the manufacturing process optimization laboratory of São Paulo University has modern manufacturing systems, which add the use of ad-

mohamed (2008), las ventajas de un *WebLab* es que permite aprovechar los recursos humanos y materiales de los laboratorios tradicionales, al integrar, en un único computador, los instrumentos necesarios para la ejecución de las prácticas; el ahorro en material de laboratorio es considerable, unido a la realidad con que trabaja el alumno. De otro lado, el laboratorio remoto amplía la oferta horaria al alumno en su proceso de aprendizaje, convirtiéndose en un recurso beneficioso en su formación.

El trabajo en laboratorio por medio de la implementación de laboratorios remotos no se ve limitado por el espacio físico o el tiempo de disponibilidad del personal del centro, ya que contribuye a la estructuración de los experimentos que puede aprovecharse para incorporar el desarrollo de las habilidades de los estudiantes en cuanto a la observación detallada, la resolución de problemas y el análisis e interpretación de resultados. Su principal inconveniente es la falta de control directo, ya que el sistema se visualiza mediante cámaras Web y las herramientas del sistema remoto se manejan por medios externos, como el ratón o teclado. La experimentación en tiempo real exige periodos de muestreo relativamente pequeños y disponer de sistemas operativos de tiempo real. Tanto el hardware, como el software, han de ser suficientemente robustos para que no presenten fallas mientras el alumno los está utilizando, de manera que responda y mantenga las expectativas con que este se acerca a las prácticas.

Uno de los puntos que está despertando gran interés en los últimos tiempos es el papel de la logística en los laboratorios de investigación y educación superior, tanto así que se ha creado una conferencia centrada en estos estudios denominada *Impact of Virtual, Remote and Real Logistics Labs [ImViReLL]* (Uckelmann, 2012), cuyo objetivo es evaluar el impacto, basado en la logística, de los laboratorios de investigación. La conferencia, en consecuencia, se dirige a la investigación, desde el punto de vista de la logística, de una amplia gama de campos: ingeniería, ciencias de la computación, investigación en educación distribuida y colaborativa, entre otros. Algunas de las temáticas abiertas a discusión son: entornos virtuales de investigación y comunidades, entornos remotos de investigación y de virtualización, entornos reales de investigación, logística en la vida de los laboratorios y participación del usuario final.

El caso de cadenas de suministro es más crítico aún, ya que cada sector tiene una forma particular de manejar la logística; la ventaja de un laboratorio remoto es que existe la posibilidad de plantear diferentes casos, diversificando la experiencia en sectores económicos representativos; por ejemplo, el Laboratorio de Optimización de Procesos de Manufactura de la Universidad de San Pablo en Brasil cuenta con sistemas modernos de fabricación que incorporan el uso de funciones avanzadas de red para el control y la supervisión de las máquinas, como característica importante de la gestión de la cadena de suministro. Con el concepto de sistemas de la cadena de suministro, la fabricación

se puede distribuir en varios sitios diferentes. En estos casos, el desarrollo de productos y las funciones de control de fabricación, pueden ser distribuidos a través de los usuarios de los sistemas. Este esquema abre la posibilidad de compartir, entre los usuarios del sistema, el uso de instalaciones fijas de fabricación con tecnología básica.

Para el diseño y la puesta en marcha de un laboratorio remoto para operaciones logísticas en red, soportado por una plataforma de comunicaciones que permita teleoperar y supervisar una celda de manufactura flexible didáctica, ubicada en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente [UAO], en Cali, Colombia, a través de Internet2, se desarrolló un proyecto de investigación cuyos resultados parciales se resumen en este artículo. La metodología utilizada se detalla en la sección 2; los resultados y su discusión se exponen en la sección 3; las conclusiones y trabajos futuros, se presentan en la sección 4.

II. Método

La metodología empleada para la ejecución del proyecto tuvo un alcance de naturaleza explorativa, descriptiva y correlacional, por cuanto era necesario ampliar el conocimiento buscando información actualizada sobre laboratorios remotos y los aspectos técnicos relacionados, su aplicación enfocada en temas logísticos, desde el punto de vista académico y, por consiguiente, las estrategias pedagógicas apropiadas para su incorporación en los cursos de pre y post grado seleccionados, con la aplicación de TIC.

En la primera fase del proyecto se destinó tiempo y recursos para la puesta a punto de los componentes del laboratorio: celda de manufactura, robot cartesiano y robot Scara (la Figura 1 presenta una fotografía del laboratorio). La actualización incluyó componentes como los motores y controladores del robot Scara *ER-14* y la adecuación de la cinta transportadora *Festo*, la etapa de control de los componentes principales de la cinta transportadora y del robot cartesiano *Bosh* se desarrolló en el software *Lab-View*®. Posteriormente se procedió a realizar pruebas de teleoperación de forma bidireccional entre los equipos de los laboratorios de la UAO y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey [ITESM] en México, por medio de la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada [Renata], en Colombia y la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet [CUDI], en México, ambas vinculadas a la Red de Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas [CLARA].

En la segunda fase, una vez establecidos los requerimientos técnicos acordes con las características y posibilidades de los equipos dispuestos en ambas instituciones académicas, se procedió a diseñar el proceso productivo que se representaría en la celda de manufactura de la UAO; se realizó una simulación en el software *ProModel*® que sirve para ilustrar el proceso que se desea ejecutar con el laboratorio. Este material se utilizará como material didáctico para los cursos de logística, simulación y gestión de operaciones, en pregrado, y de simulación y

vanced network functions for the control and monitoring of the machines as an important feature of the supply chain management. Given the concept of the system in the supply chain, the distribution of the manufacturing is in several places. In these cases, the development of products and fabrication control functions can be scattered through the users of the system. This schematic opens the possibility of sharing the use of fixed manufacturing facilities with basic technology between the users of the system.

We developed a research project for the design and operation of a remote laboratory for network logistic operations and supported by a communications platform, which allows the remote operation and supervision of a flexible-didactic manufacturing cell. The partial results of the system performance are summarized in this article. The described WebLab is located in the laboratories of the *Universidad Autónoma de Occidente* [UAO] in Cali, Colombia, and its basis is the Internet2 technology. The methodology used is detailed in section 2, the results and their respectively discussion are presented in section 3, and section 4 presents conclusions and future work.

II. Method

The methodology employed for the execution of the project had an explorative, descriptive, and correlational scope. This is because it was necessary to enhance the knowledge by searching for updated information about remote labs and their technical aspects, their application in logistics considering the academic point of view, and the pedagogic strategies for their inclusion in undergraduate and postgraduate studies.

Within the first phase of the project, we focused on setting up each laboratory component as the manufacturing cell, the *Bosh* Cartesian coordinate robot (from now on, we refer to this as a linear robot), and Scara *ER-14* robot (**FIGURE 1** exhibits a photo of the lab). The update included components such as the engines and controllers of the Scara robot and the adaptation of the *Festo* transporting band. The development of the control stage of the main components of the transporting band and the linear robot was in the *Lab-View*® software. Afterwards, we performed some bidirectional remote operation tests between the equipment in the UAO and that present in the Monterrey Superior Studies and Technological Institute [ITESM: *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*] in Mexico. These tests were supported by the infrastructure of RENATA in Colombia and the University Corporation for the Development of



Figure 1. Festo-Bosh manufacturing cell located in the robotics lab of the UAO / Celda de manufactura FESTO-BOSH ubicada en el laboratorio de robótica de la UAO

Internet [CUDI: *Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet*] in Mexico, both linked to the Latin American Network of Cooperation in Advanced Networks [CLARA: *Red de Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas*].

In the second phase, as soon as the technical requirements based on the features of the equipment present in both academic institutions were established, we designed the production process to represent in the UAO manufacturing cell. We ran a simulation in the *ProModel*® software, which allows an illustration of the processes executed in the lab. The results of this research can be used as didactic material for the courses in logistics, applied logistics operations management, simulation and logistics information models, and applied logistics operation management. Furthermore, these results contribute to acquaint the support and development engineers with the desired use to the components of the remote laboratories.

III. Developed Practices

Currently, we have two simulated practices in the test phase in the tele-operated laboratory.

Supply chain

We started with a production process consisting of the assembly of two parts, represented by Lego® pieces in four different colors. The model incorporates stock management and it allows up to 16 combinations/references. The four storage stations of the Lego® pieces (raw material) are in the work area of the Scara robot. They are also located in the outside part of the transporting band. The assembly station is located inside the band, next to the robot; this allows the arm to hold the first piece of the corresponding station, put

modelos de información logísticos y gestión de operaciones logísticas aplicadas, en posgrado; adicionalmente el material sirve como apoyo para dar a conocer, con mayor grado de detalle, a los ingenieros de soporte y desarrollo, el uso que se quiere dar a los componentes del laboratorio remoto.

III. Practicas desarrolladas

En el momento se tienen dos prácticas simuladas que se encuentran en fase de prueba en el laboratorio teleoperado

Cadena de suministro

Se inició con un proceso de producción consistente en el ensamble de dos partes, representadas por fichas lego de cuatro colores diferentes. El modelo incorpora la gestión de inventarios y permite 16 combinaciones o posibles referencias. En el área de trabajo del robot Scara se encuentran las cuatro estaciones de almacenamiento de las fichas lego o materia prima, ubicadas hacia afuera de la banda transportadora; la estación de ensamble se colocó al interior de la banda, al lado del robot, de tal manera que el brazo tome la primera ficha de la estación correspondiente, la coloque en el área de ensamble y, seguidamente, tome la segunda y la ubique sobre la primera. Tanto la demora, como el tiempo de proceso de ensamble, pueden ser programadas por el estudiante, para finalmente colocar las dos fichas ensambladas –producto terminado– sobre la cinta transportadora, de donde son dirigidas hacia la estación de almacenamiento de producto terminado administrada por el robot cartesiano (ver FIGURA 2).

En la estación de almacenamiento, compuesta por el robot cartesiano y una estantería, se recoge la materia prima – representada por las fichas lego de cada color– y el producto ensamblado o producto terminado. El robot está en capacidad de llevar hacia la banda las fichas lego individuales, según las necesidades; también recoge los pares ensamblados para su almacenamiento.

Los parámetros configurables del proceso son:

- las cantidades a producir de cada una de las 16 referen-

cias posibles –demanda–;

- los inventarios mínimos en las estaciones adjuntas al área de ensamble –stock de seguridad–;
- la velocidad de la banda transportadora;
- el tamaño de lote de producción y transporte; y
- el tipo de proceso –que puede ser *push* (producir la totalidad de cada una de las referencias) o *pull* (producir una referencia a la vez).

Operación portuaria

Esta configuración de la celda representa el cargue y descargue de cuatro tipos de contenedores, de tal manera que las estanterías en el almacén representan el buque, mientras que el robot cartesiano hace las veces de grúa pórtico. El robot *Scara* se encarga de ubicar los contenedores descargados del buque en las zonas de almacenamiento respectivas –cuya identificación se hace por medio de un lector de código de barras y una cámara de visión IEEE 1494, ubicados en la celda de manufactura–, así como de despachar los contenedores que serán subidos al barco (ver FIGURA 3).

En paralelo, en este punto de desarrollo del proyecto, y con el propósito de identificar las posibilidades técnicas del usuario objetivo para acceder a plataformas virtuales, además de conocer sus experiencias en prácticas de laboratorio presenciales, se ha dispuesto, en el sitio web del proyecto (<http://teleoplogis.net/>), una encuesta con preguntas puntuales sobre el uso de recursos tecnológicos tales como: computadores, tabletas, teléfonos inteligentes y conexión a Internet. También se hicieron preguntas para conocer temáticas propuestas en los campos de gestión de operaciones, simulación y logística, finalizando con cuestionamientos dirigidos a medir la experiencia y contribución de las prácticas que actualmente se imparten en la UAO. Este estudio se está realizando de cara a la posterior puesta al aire de las prácticas desarrolladas que están siendo probadas en el laboratorio remoto.

Esta encuesta se ha distribuido principalmente entre es-

it it in the assembly area, and take the second piece. The students can program both the delay and the assembly time. Finally, the model puts the two assembled pieces—the end product—on the transporting band, where they are transported into the storage station, managed by the linear robot (see FIGURE 2).

In the storage station, composed of the linear robot and a shelf, the system receives the raw material and the final product. The robot is capable of carrying the individual Lego® pieces towards the band, given certain necessities. It also picks up the assembled pairs for their storage

The configurable parameters of the process are:

- The quantity of each of the 16 possible references to produce—demand;
- the minimal stock in the stations next to the assembly area—security stock;
- the speed of the transporting band;
- the size of the production and transport lots; and
- the type of process—which can be *push* (produce the total amount of each of the references) or *pull* (produce one reference at the time).

Port operations

This cell configuration represents the loading up and offloading of four container types, considering that the shelves in the warehouse represent the container ship, whilst the linear robot takes the role of the gantry crane. The Scara robot is responsible for the location of the containers offloaded from the ship into the respective storage areas—where the identification is carried out using a bar code

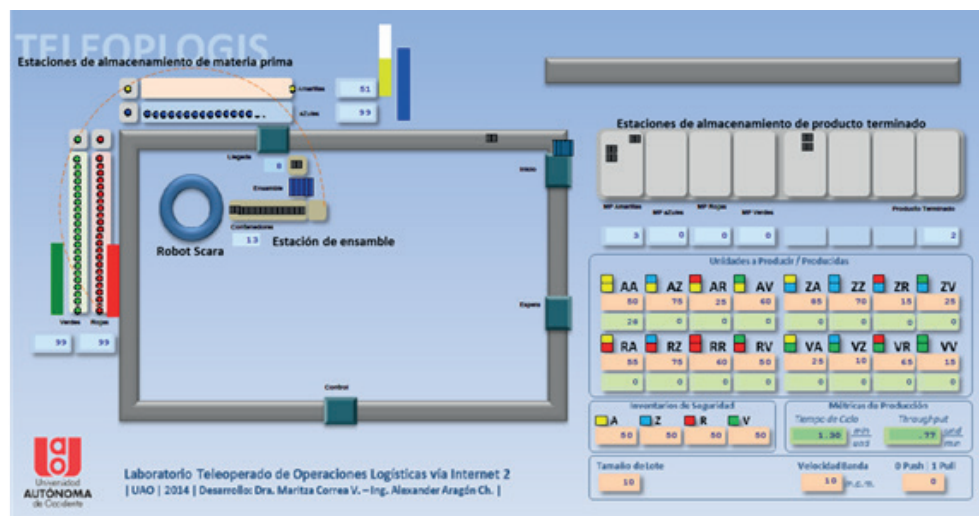


Figure 2. Simulation in ProModel® of practice 1, associated with supply chain management / Simulación en ProModel de la práctica 1, asociada a la gestión de la cadena de suministros

scanner and an IEEE 1494 vision camera located in the manufacturing cell—and also for the dispatching of the containers in the ship (see **FIGURE 3**).

In parallel, at this point of the project development, and with the purpose of identifying the technical possibilities of the objective user accessing virtual platforms, we have decided to offer in the project website (<http://telecoplogis.net/>) a survey related to the use of technological resources such as computers, tablets, and smartphones. Other questions are related to topics in the field of operations management, logistics, and simulation; ending with questions to measure the experience and contribution of the practices imparted at the UAO. This study is currently in execution and it precedes the implementation of the practices in the remote lab.

This questionnaire has been presented to candidates for the Master in Integral Logistics and to undergraduate students taking the stochastic process simulation subject of Industrial Engineering. We expect to gather information from students in other subjects. In the case of the first year students, we only considered data related to the use of technological resources.

It is important to note that, in the first quarter of 2014, the number of connections to broadband internet (fixed and mobile) was 8.8 million, which represents an increase of 33.9% relative to the first quarter of 2013 (Mora, 2014). As a notable datum, 4G LTE mobile connections grew by up to 63.8% in the same period. For this reason, internet penetration, together with a broader availability of mobile devices at lower prices, guarantees a constant increase in users with the capacity to access online services. In consequence, new training strategies need to be developed to take advantage of ICT services for remote labs.

tudiantes de la Maestría en Logística Integral y de la asignatura Simulación de Procesos Estocásticos de Ingeniería Industrial. Se espera recopilar información con estudiantes de otras asignaturas. Para el caso de los estudiantes de primer año (Introducción a la Ingeniería), solo se recopilaron datos relacionados con el uso de recursos tecnológicos.

Cabe resaltar que a nivel nacional, en el primer trimestre de 2014 las conexiones a Internet banda ancha (fijas y móviles) totalizan 8.8 millones de suscriptores, lo que representa un incremento de 33.9% respecto del primer trimestre del año anterior (Mora, 2014). Se destaca que, con la llegada de la tecnología 4G, las conexiones móviles han crecido en el mismo período en un 63.8%, por lo que la penetración de Internet, junto con una mayor disponibilidad de dispositivos móviles a precios favorables, asegura un incremento constante de usuarios con capacidad de acceder a los servicios en línea, lo que se constata con los resultados que está arrojando el sondeo y que confirma la necesidad de desarrollar nuevas estrategias de entrenamiento con el aprovechamiento de TIC, apoyado por el respaldo que la mayoría de los encuestados manifiesta a las actividades lúdicas que se apoyan en las mismas.

Finalizado 2014 los cuestionamientos asociados al uso de tecnología habían sido respondidos por 80 estudiantes. Entre los estudiantes de primer año se observó que el 63% posee computador de escritorio; 62%, equipo portátil; 97%, acceso a Internet; 80%, teléfono inteligente —46% sin plan de datos móviles, 22% con acceso solo a redes sociales y correo electrónico, y 32% con navegación completa— y solo 25%, tableta (22%, Android; 3%, iPad). Entre los estudiantes de grados superiores (últimos semestres de Ingeniería Industrial) y estudiantes de postgrado (Maestría en Logística Integral), se observó que el 16% posee computador de escritorio, 42% portátil y 32% ambos equipos; en cuanto acceso a internet, la totalidad manifestó tener banda ancha residencial; el 84% tiene teléfono inteligente, 16% solo con plan de datos para redes sociales y correo electrónico.

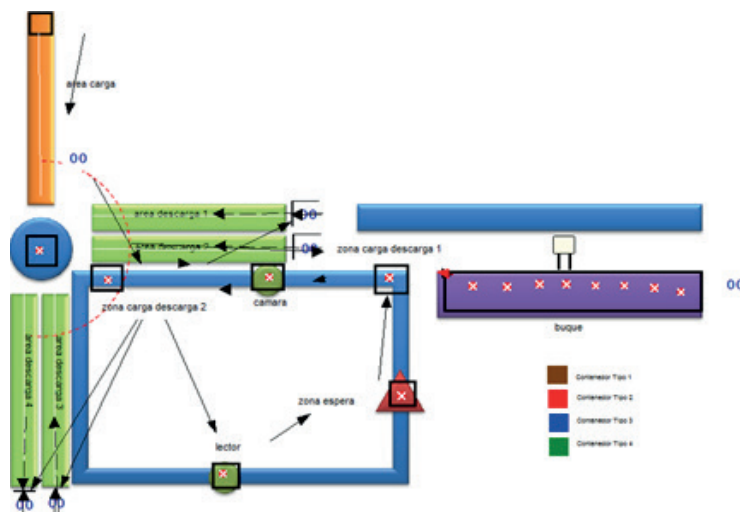


Figura 3. Simulación en ProModel de la práctica 2, asociada a una operación portuaria / Simulation in ProModel® of practice 2, associated with port operations

nico, y 37% con navegación completa; adicionalmente, el 47% manifiesta tener una tableta. En este mismo segmento, como se observa en la **FIGURA 4**, entre los encuestados que han participado en las distintas prácticas de laboratorios presenciales en la UAO, 16% considera que las actividades ofrecidas no sirven de apoyo para reforzar el aprendizaje de los aspectos teóricos, mientras que el 84% cree que sí; 79% considera que las prácticas de laboratorio los acerca al contexto real por medio del planteamiento de situaciones o escenarios al conocimiento teórico adquirido, mientras que una menor proporción, solo 21%, considera que es poco ese acercamiento. Por otro lado, la aceptación de las TIC es alta: 95% de los encuestados cree que la integración de TIC puede incrementar la calidad de su aprendizaje, mientras que sólo 5% no está tan seguro de ello.

Los resultados de este sondeo son un insumo para la liberación del laboratorio remoto y permitir acceso a los estudiantes; hasta el momento se han realizado pruebas para validar las prácticas y la accesibilidad remota con algunos estudiantes registrados en la plataforma para administración de usuarios.

IV. Resultados y discusión

Los resultados conseguidos hasta la fecha son evidentes, en el apartado anterior se describió el estado actual del proyecto, se ha logrado tener el laboratorio teleoperado en marcha y poner dos prácticas en funcionamiento, realizando pruebas de acceso remoto con resultado aceptables en cuanto a tiempo de respuesta y funcionalidad, con retardos de aproximadamente cuatro segundos. Estas pruebas se han realizado con conexión remota a una red local y con acceso intercampus con el TEC de Monterrey por medio de la red Clara.

En la etapa inicial del proyecto se identificaron inconvenientes relacionados con la capacidad técnica y de seguridad en las instituciones participantes, por lo que fue necesario gestionar la asignación de direcciones IP fijas y la liberación de algunos puertos para la conexión de cámaras y el acceso a la red de los campus universitarios desde el exterior; se compararon las características y flexibilidad del equipamiento dispuesto en los laboratorios, lo que hizo ne-

By the end of 2014, 80 students answered the survey related with the use of technology. From these results, 63% of the first year students have a desktop computer; 62% have laptops; 97% have internet access; 80% have a smartphone—46% without data plan, 22% with limited internet access, and 32% with full navigation—and only 25% of these students have a tablet (22% Android®; 3% iPad®). Among the superior level students (latest semesters of industrial engineering) and postgraduate students (Master in Integral Logistics), we observed that 16% have a desktop computer, 42% have laptops, and 32% both. With regard to internet access, everyone mentioned having it; 84% of them have a smartphone, 16% with limited access and 37% with full navigation. Additionally, 47% of them have a tablet. Summarizing this data, **FIGURE 4** presents the results about the survey respondent students who have had access to several traditional laboratory practices. From here, 16% consider that the activities offered do not serve to support the reinforcement of theoretical aspects, while 84% of them think they do serve as a support. In addition, 79% of the students believe that the laboratory practices expose them to real contexts by proposing situations or scenarios where theoretical knowledge is applied, whilst only 21% think these practices give them limited exposure. On the other hand, the acceptance of ICT is high: 95% of the survey respondents think ICT integration can increase the quality of their learning processes, while only 5% are not sure.

The results of this survey are a supply for the release of the remote laboratory and allow access for the students. Until now, we have carried out some tests in order to validate the practices and remote accessibility with some students registered in the platform.

IV. Results and discussion

In the previous sections, we described the actual state of the

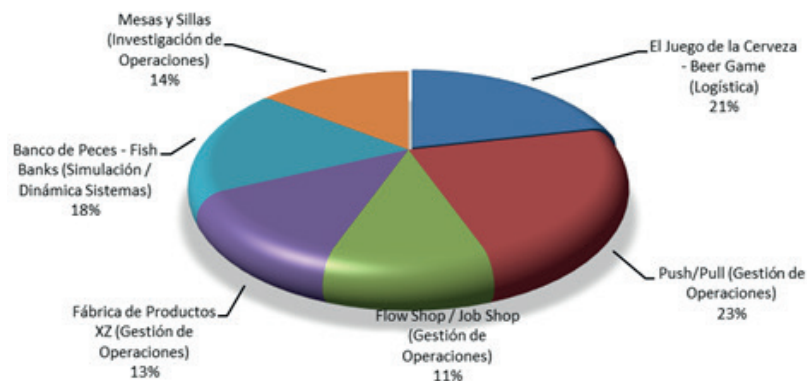


Figure 4. Participation of students in the various laboratory practices / Participación de estudiantes en las distintas prácticas de laboratorio

project, where the tele-operated lab is operating flawlessly with two practices within it. We carried out remote access tests with acceptable results for response time and functionality, obtaining latency results of 4 seconds, approximately. We implemented these tests with a remote connection to a local network and with intercampus access with the ITESM through the CLARA network.

At the initial stage of the project, we identified some issues related to the technical capacity and security in the participating institutions. Therefore, it was necessary to manage the assignation of fixed IP addresses and to free up some ports for the connection of cameras and for remote access from external networks. We compared the features and flexibility of the equipment in the laboratories, where it was found necessary to execute some updates in the working stations, engines, sensors, actuators, and controllers, seeking for greater flexibility and agility in their operation.

We also formulated a detailed description of the hardware related to the control of the Festo manufacturing cell; in addition, we defined the communication protocols used for control of the devices conforming the flexible manufacturing system. Once we had finished the set-up of the physical platform, we developed the main interconnection program of the transporting band and the Scara robot, achieving the handling of the communication and synchronization mechanisms between the work station of the transporting band and the linear robot in the warehouse. In **FIGURE 5**, we present the development of practice 1 and the program controlling the Scara robot (C segment).

Likewise, we performed synchronization tests of every work station in an effort to achieve a correct communication and programming of the flexible manufacturing system.

V. Conclusions and future work

cesario la realización de algunas actualizaciones en cuanto a: computadores, motores, sensores, actuadores y controladores, buscando que pudieran proveer mayor flexibilidad y agilidad en su operación.

También se realizó una descripción detallada del hardware relacionado con el control de la celda de manufactura *Festo* y se definieron los protocolos de comunicación utilizados para el control de los dispositivos que conforman el sistema flexible de manufactura. Una vez puesta a punto la plataforma física básica, se desarrolló el programa principal de interconexión de la banda transportadora y Robot *SCARA*, logrando la manipulación de los mecanismos de comunicación y sincronización entre la estación de trabajo de la banda transportadora y el robot cartesiano del almacén. En la **FIGURA 5** se observa el desarrollo de la práctica 1 y el programa que controla el robot Scara (segmento C).

Adicionalmente se realizaron pruebas de sincronización de todas las estaciones de trabajo para la correcta comunicación y programación del Sistema Flexible de Manufactura.

V. Conclusiones y trabajo futuro

Se consiguió poner en funcionamiento la celda de manufactura Festo, el robot Scara y el robot Cartesiano, ubicados en el laboratorio de robótica de la UAO, de forma sincronizada, controlando su accionamiento con un programa desarrollado en Labview para la ejecución de prácticas con acceso remoto, con el cual se puede hacer seguimiento del accionamiento de los componentes por medio de cámaras web ubicadas en el laboratorio.

Se logró cambiar el concepto del tipo de prácticas a realizar en el laboratorio de robótica, con el desarrollo de ejercicios de laboratorio orientados a estudiantes de Ingeniería Industrial y afines, enfocados en gestión de operaciones y logística.

En la revisión del estado del arte de esta clase de laboratorios fue difícil encontrar prácticas diferentes al propio funcionamiento y a la programación del sistema flexible de manufactura, en los que se encuentran múltiples ejercicios

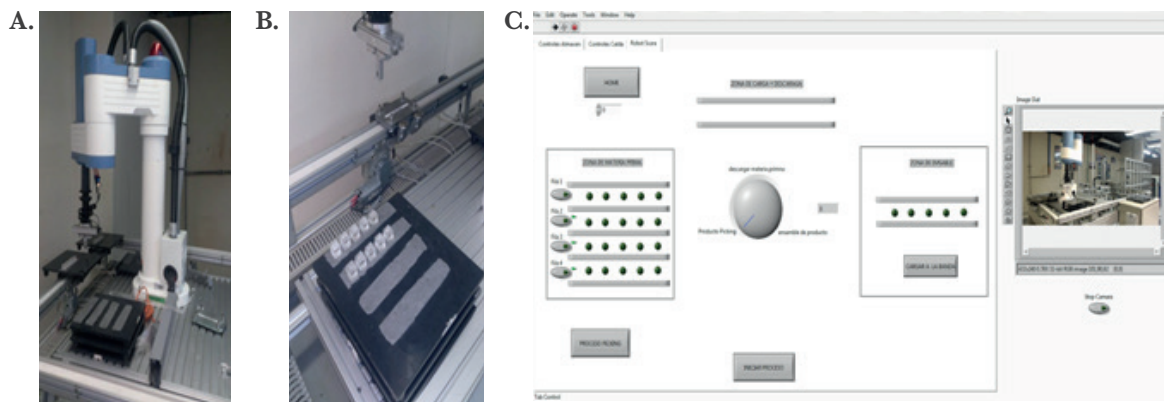


Figure 5. Development of the practice associated with the supply chain management / Desarrollo de la práctica asociada a la gestión de la cadena de suministro


dirigidos a estudiantes de ingeniería mecatrónica, ingeniería electrónica e informática, asociados con la programación de PLC, control de robots, etc., por tanto el enfoque dado a este tipo de laboratorio en este proyecto ha sido novedoso.

En el desarrollo del proyecto se incluyó la realización de simulaciones virtuales de procesos de fabricación con opciones parametrizables, de tal manera que los usuarios —estudiantes—, en sus ejercicios académicos obtuvieran resultados del proceso para posteriores trabajos de análisis detallado del comportamiento presentado. En este desarrollo se empleó programación en *PHP* y bases de datos *MySQL*, que posteriormente serán enlazados con el módulo de control en *Lab-View*.

Como trabajo futuro se propone la construcción de una plataforma en línea para gestionar el registro y acceso masivo de usuarios al sistema, para lo cual es necesario hacer varias pruebas previas de seguridad o definir la conformación de una red dedicada solamente al laboratorio de robótica, donde adicionalmente se limite la manipulación de los controles del sistema flexible de manufactura, con el fin de salvaguardar la seguridad de los equipos.

También se planea la incorporación al laboratorio remoto de nuevas prácticas enfocadas a picking, ruteo y manejo de almacén que ya están siendo probadas en simulación.

VI. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación TELEOPLOGIS- Laboratorio Teleoperado de Operaciones Logísticas Vía Internet 2 bajo el código 12INTER-180, por la Universidad Autónoma de Occidente, a través de la resolución 6635 del 05 de Junio de 2012. 

We were able to set up and run the Festo manufacturing cell, the Scara and the linear robots —located in the robotics laboratory of the UAO— in a synchronous way by controlling their actions with a program developed in LabVIEW for the execution of remotely accessed practices. Thanks to the functionality of this program, we were able to monitor the operation of the components through webcams located in the lab.

We were able to change the concept of the type of practice to execute in the robotics laboratory with the development of laboratory exercises oriented to industrial engineering students. We approached these exercises in operations management and logistics.


There were several difficulties to review of the state of the art to find practices different from the proper operation and programming of the manufacturing flexible system. In this research, we found multiple exercises aimed at students of mechatronics, electronics, and computer science engineering; these examples are associated with the programming of PLC, robot control, etc. Thus, the focus given to this type of laboratory in this project is a novel practice.

Within the development of the project, we included the execution of simulations of manufacturing processes with configurable options, so the users in their academic exercises could get the results of the process for subsequent work related to the analysis of the presented behavior. In this development, we used PHP programming and MySQL databases, to, afterwards, link these elements with the control module in LabVIEW.

As a future work, we propose the construction of an online platform to manage the registration and massive access of users to the system. For this task, it is necessary to either do previous several security tests or define the structure of a network exclusively for the robotics lab. In that structure, the network administrator can limit the manipulation of the manufacturing flexible system controls, in order to protect the security of the equipment.

We also propose the incorporation of new practices to the remote laboratory, mainly focused on routing and warehouse management, which are already being tested in simulators.

VI. Acknowledgements

This work is financed by the research project TELEOPLOGIS —Tele-operated Laboratory for Logistics Operations— via *Internet2* under the code 12INTER-180, and by the *Universidad Autónoma de Occidente*, through the resolution 6635 of June 5 of 2012. 

References / Referencias

- Calvo, I., Zulueta, E., Gangoi, U., López, J. (2008). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas, *Ikastorratza*, 3. Retrieved from: http://www.ehu.eus/ikastorratza/3_alea/laboratorios.pdf
- Coquard, P., Guillemot, M., Leleve, A., Noterman, D., & Benmohamed, H. (2008). AIP-Primeca RAO remote laboratories in automation. *International Journal of Online Engineering*, 4(1), 12-18.
- Dirección Nacional de Innovación Académica [DNIA] (2014). ¿Quiénes somos? Retrieved from: <http://www.virtual.unal.edu.co/unvPortal/pages/PagesViewer.do?idPage=11&reqCode=viewDetails>
- Duque, J., Corredor, J., Perez, M., Mesa, M., Amaya, D., Camargo, F., ... & de la Rosa, F. (2011). Accesibilidad a las celdas de manufactura flexible automatizadas a través de la red nacional RENATA y la red internacional CLARA para supervisar y controlar su estado y funcionamiento. *Revista e-colabora*, 1(1), 22-35.
- Gonzales, M., Adiego, J., Sanz, I., Bouab, N., & Mass, J. (2008). *Laboratorios remotos en la web: una herramienta para la cooperación al desarrollo en el campo de la educación* [paper - Encuentro de Cooperación para el Desarrollo 2.0. Gijón, Spain].
- Laboratory for advanced processes and sustainability*. (2011). Retrieved from: <http://www.opf.sc.usp.br/>
- Laboratório de Otimização de Processos de Fabricação – OPF. USP São Carlos - Universidade de São Paulo, Brasil. Escola de Engenharia, NUMA - Núcleo de Manufatura Avançada.
- Mora, M. [Ed.]. (2014, junio). *Boletín Trimestral de las TIC*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Available at: http://colombiatic.mintic.gov.co/602/articles-6276_archivo_pdf.pdf
- Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada [RENATA] (s.f). ¿Qué es Renata? Retrieved from: <http://www.renata.edu.co/index.php/quienes-somos>
- Rodríguez, S., Hernández, E., Foyo, S., & Loa, L. (2011). Modelado y control de un sistema de manufactura flexible basado en sistemas de eventos discretos. *TESCOALTL*, 32(13). Retrieved from: http://tesco.edu.mx/gem/DOC/PDF/publicaciones/tescoatl/tesco_pdf_tescoatl32_5_ModeladoControlSistManufacFlex.pdf
- Rosado, L. & Herreros, J.R. (2005). Nuevas aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física [III International Conference on multimedia and Information & Communication Technologies in Education (m-ICTE2005), Cáceres, Spain]. Retrieved from: <http://www.uv.es/eees/archivo/286.pdf>
- Teleoplogis: laboratorio teleoperado de operaciones logísticas, vía Internet2*. (s.f.). Retrieved from: <http://teleoplogis.net/>
- Uckelmann, D. (2012). The role of logistics labs in research and higher education. In *Communications in Computer and Information Science*, 282, [The Impact of Virtual Remote and Real Logistics Labs], (pp.1-12). Berlin-Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

CURRICULUM VITAE

Alexander Aragón Chamorro Industrial Engineer. Master in Logistics. Full-time Instructor of Industrial Engineering Labs. and cathedra professor of Center for Innovative Education in Engineering at Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia) / Máster en Ingeniería Industrial; Máster en Logística; instructor de tiempo completo de los Laboratorios de Ingeniería Industrial y profesor hora cátedra del Centro de Innovación Educativa en Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente.

Maritza Correa Valencia Industrial Engineer, Master in Information Technologies in Manufacturing and Doctor of Computer Sciences and Artificial intelligence. Full-time professor and researcher of the Operations and Computer Department at the Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia). Ingeniera Industrial, Máster en Tecnologías de Información en Manufactura y Doctora en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Profesora de tiempo completo e investigadora del Departamento de Operaciones y Sistemas de la Universidad Autónoma de Occidente.